УДК 621.313.333:658.562

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

О.О. Муравлева

Томский политехнический университет
E-mail: MuravlevaOO@tpu.ru

Рассмотрена возможность создания энергоэффективных асинхронных двигателей без изменения поперечного сечения для регулируемых электроприводов, что позволяет обеспечить реальное энергосбережение. Показаны пути обеспечения энергосбережения за счет использования асинхронных двигателей повышенной мощности в насосных агрегатах сферы жилищно-коммунального хозяйства. Проведенные экономические расчеты и анализ результатов показывают экономическую эффективность использования двигателей повышенной мощности, несмотря на увеличение стоимости самого двигателя.

Введение

В соответствии с «Энергетической стратегией на период до 2020 года» высшим приоритетом государственной энергетической политики является повышение энергоэффективности промышленности. Эффективность российской экономики существенно снижается из-за ее высокой энергоемкости. По этому показателю Россия опережает США в 2,6 раза, Западную Европу в 3,9 раза, Японию – в 4,5 раза [1]. Лишь отчасти указанные различия могут быть оправданы суровыми климатическими условиями России и обширностью ее территории. Одним из основных способов предотвращения энергетического кризиса в нашей стране – проведение политики, предусматривающей масштабное внедрение на предприятиях энерго- и ресурсосберегающих технологий. Энергосбережение превратилось в приоритетное направление технической политики во всех развитых странах мира.

В ближайшем будущем проблема энергосбережения повысит свой рейтинг при ускоренном развитии экономики, когда появится дефицит электрической энергии и компенсировать его можно двумя путями – введением новых энергогенерирующих систем и энергосбережением. Первый путь более дорогой и длительный во времени, а второй – значительно быстрее и экономически выгоднее потому, что 1 кВт мощности при энергосбережении стоит в 4...5 раз меньше, чем в первом случае. Большие затраты электрической энергии на единицу всеобщего валового продукта создают огромный потенциал энергосбережения в народном хозяйстве. В основном высокая энергоемкость экономики вызвана использованием энергорасточительных технологий и оборудования, большими потерями энергоресурсов (при их добыче, переработке, преобразовании, транспорте и потреблении), нерациональной структурой экономики (высокая доля энергоемкого промышленного производства). В результате накопился обширный потенциал энергосбережения, оцениваемый в 360...430 млн. т у. т., или 38...46 % современного потребления энергии [1]. Реализация этого потенциала может позволить при росте экономики за 20 лет в 2,3...3,3 раза ограничиться ростом потребления энергии всего в 1,25...1,4 раза, значительно повысить качество жизни граждан и конкурентоспособность отечественных товаров и услуг на внутреннем и внешнем рынках. Таким образом, энергосбережение является важным фактором экономического роста и повышения эффективности народного хозяйства.

Целью данной работы является рассмотрение возможностей создания энергоэффективных асинхронных двигателей (АД) для регулируемых электроприводов для обеспечения реального энергосбережения.

Возможности создания энергоэффективных асинхронных двигателей

В настоящей работе на основе системного подхода определены эффективные пути обеспечения реального энергосбережения. Системный подход к энергосбережению объединяет два направления – совершенствование преобразователей и асинхронных двигателей. Учитывая возможности современной вычислительной техники, совершенствование методов оптимизации, приходим к необходимости создания программно-вычислительного комплекса для проектирования энергоэффективных АД, работающих в регулируемых электроприводах. Принимая во внимание большой потенциал энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ), рассмотрим возможности применения регулируемого электропривода на базе асинхронных двигателей в этой сфере.

Решение проблемы энергосбережения возможно при совершенствовании регулируемого электропривода на базе асинхронных двигателей, которые должны быть спроектированы и изготовлены специально для энергосберегающих технологий. В настоящее время потенциал энергосбережения для самых массовых электроприводов – насосных агрегатов составляет более 30 % от потребляемой мощности. На основании мониторинга в Алтайском крае можно получить при использовании регулируемого электропривода на базе асинхронных двигателей следующие показатели: экономия электроэнергии – 20...60 %; экономия воды – до 20 %; исключение гидравлических ударов в системе; снижение пусковых токов двигателей; минимизация затрат на обслуживание; снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций [2]. Это требует совершенствования всех звеньев электропривода, и, прежде всего, основного элемента, выполняющего электромеханическое преобразование энергии, – асинхронного двигателя.

Сейчас в большинстве случаев в регулируемом электроприводе используются серийные асинхронные двигатели общего назначения. Уровень расхода активных материалов на единицу мощности АД практически стабилизировался. Согласно некоторым оценкам применение серийных АД в регулируемых электроприводах приводит к снижению их КПД и повышению установленной мощности на 15...20 % [3]. Среди российских и зарубежных специалистов высказывается мнение о том, что для подобных систем нужны специальные двигатели. В настоящее время требуется новый подход к проектированию в связи с энергетическим кризисом. Масса АД перестала быть определяющим фактором. На первый план выходит повышение энергетических показателей, в том числе за счет увеличения их стоимости и расхода активных материалов.

Одним из перспективных способов совершенствования электропривода является проектирование и изготовление АД специально для конкретных условий эксплуатации, что благоприятно для обеспечения энергосбережения. При этом решается задача адаптации АД к конкретному электроприводу, что дает наибольший экономический эффект в условиях эксплуатации.

Следует отметить, что выпуск АД специально для регулируемого электропривода производят фирмы Simens (Германия), Atlans-Ge Motors (США), Lenze Bachofen (Германия), Leroy Somer (Франция), Мэйден (Япония). Существует устойчивая тенденция мирового электромашиностроения по расширению производства таких двигателей. На Украине разработан программный комплекс проектирования модификаций АД для регулируемого электропривода [4]. В нашей стране утвержден ГОСТ Р 51677-2000 [5] для АД с высокими энергетическими показателями и возможно в ближайшее время будет организован их выпуск. Применение модификаций АД, специально спроектированных для обеспечения эффективного энергосбережения, – перспективное направление для совершенствования асинхронных двигателей.

При этом встает вопрос об обоснованном выборе подходящего двигателя из разнообразной по исполнению, модификациям номенклатуры выпускаемых двигателей, потому что применение общепромышленных асинхронных двигателей для электропривода с регулируемой частотой вращения оказывается неоптимальным по массогабаритным, стоимостным и энергетическим показателям. В связи с этим требуется проектирование энергоэффективных асинхронных двигателей.

Энергоэффективным является асинхронный двигатель, в котором с использованием системного подхода при проектировании, изготовлении и эксплуатации повышены КПД, коэффициент мощности и надежность. Характерными требованиями к общепромышленным приводам являются минимизация капитальных и эксплуатационных затрат, в том числе и на техническое обслуживание. В этой связи, а также в силу надежности и простоты механической части электропривода подавляющее большинство общепромышленных электроприводов строятся именно на основе асинхронного двигателя – наиболее экономичного двигателя, который конструктивно прост, неприхотлив и имеет низкую стоимость. Анализ проблем регулируемых асинхронных двигателей показал, что их разработка должна выполняться на основании системного подхода с учетом особенностей работы в регулируемых электроприводах [6].

В настоящее время в связи с возросшими требованиями к эффективности за счет решения вопросов энергосбережения и повышения надежности функционирования электротехнических систем приобретают особую актуальность задачи модернизации асинхронных двигателей для улучшения их энергетических характеристик (КПД и коэффициента мощности), получения новых потребительских качеств (совершенствование защиты от окружающей среды, в том числе герметизация), обеспечение надежности при проектировании, изготовлении и эксплуатации асинхронных двигателей. Поэтому при выполнении исследований и разработок в области модернизации и оптимизации асинхронных двигателей необходимо создание соответствующих методик для определения их оптимальных параметров, из условия получения максимальных энергетических характеристик, и расчета динамических характеристик (время пуска, нагрев обмоток и т.д.). В результате теоретических и экспериментальных исследований важно определить наилучшие абсолютные и удельные энергетические характеристики асинхронных двигателей, исходя из требований предъявляемых к регулируемому электроприводу переменного тока.

Стоимость преобразователя обычно в несколько раз выше стоимости асинхронного двигателя одинаковой мощности. Асинхронные двигатели являются основными преобразователями электрической энергии в механическую, и в значительной степени они определяют эффективность энергосбережения.

Существует три пути обеспечения эффективного энергосбережения при применении регулируемого электропривода на базе асинхронных двигателей:

- совершенствование АД без изменения поперечного сечения;
- совершенствование АД с изменением геометрии статора и ротора;
- выбор АД общепромышленного исполнения большей мощности.

Каждый из этих способов имеет свои достоинства, недостатки и ограничения по применению и выбор одного их них возможен только путем экономической оценки соответствующих вариантов.

Совершенствование и оптимизация асинхронных двигателей с изменением геометрии статора и ротора даст больший эффект, спроектированный двигатель будет иметь лучшие энергетические и динамические характеристики. Однако при этом финансовые затраты на модернизацию и переоборудование производства для его выпуска составят значительные суммы. Поэтому на первом этапе рассмотрим мероприятия, которые не требуют больших финансовых затрат, но при этом позволяют обеспечить реальное энергосбережение.

Результаты исследования

В настоящее время АД для регулируемого электропривода практически не разрабатываются. Целесообразно использовать специальные модификации асинхронных двигателей, в которых сохраняются штампы на листы статора и ротора и основные конструкционные элементы. В данной статье рассматривается возможность создания энергоэффективных АД путем изменения длины сердечника статора (l), числа витков в фазе обмотки статора (W) и диаметра провода при использовании заводской геометрии поперечного сечения. На начальном этапе была произведена модернизация асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором за счет изменения только активной длины [7]. В качестве базового двигателя взят асинхронный двигатель АИР112М2 мощностью 7,5 кВт, выпускающийся на ОАО «Сибэлектромотор» (г. Томск). Значения длины сердечника статора для расчетов принимались в диапазоне l=100...170 %. Результаты расчетов в виде зависимостей максимального (η_{max}) и номинального ($\eta_н$) КПД от длины для взятого типоразмера двигателя представлены на рис. 1.

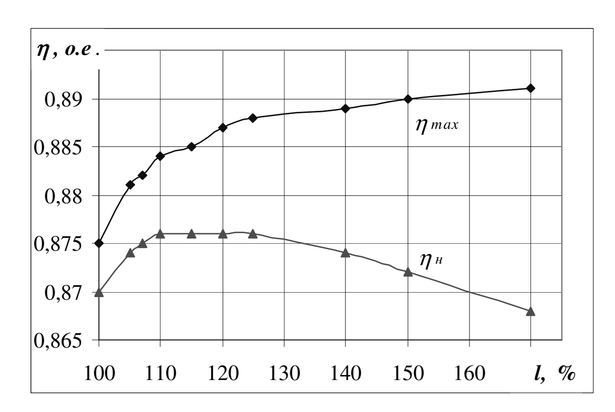


Рис. 1. *Зависимости максимального и номинального коэффициента полезного действия при различной длине сердечника статора*

Из рис. 1 видно, как количественно изменяется значение КПД при увеличении длины. Модернизированный АД имеет номинальный КПД выше, чем у базового двигателя при изменении длины сердечника статора до 160 %, при этом наиболее высокие значения номинального КПД наблюдаются при 110...125 %.

Изменение только длины сердечника и, как следствие, уменьшение потерь в стали, несмотря на некоторое увеличение КПД, не является наиболее эффективным путем совершенствования асинхронного двигателя. Более рациональным будет изменение длины и обмоточных данных двигателя (число витков обмотки и сечение провода обмотки статора). При рассмотрении данного варианта значения длины сердечника статора для расчетов принимались в диапазоне l=100...130 % [7]. Диапазон изменения витков обмотки статора принимался равным W=60...110 %. У базового двигателя значение W=108 витков и $\eta_н$=0,875. На рис. 2 представлен график изменения значения КПД при изменении обмоточных данных и активной длины двигателя. При изменении количества витков обмотки статора в сторону уменьшения, происходит резкое падение значений КПД до 0,805 и 0,819 у двигателей с длиной 100 и 105 % соответственно.

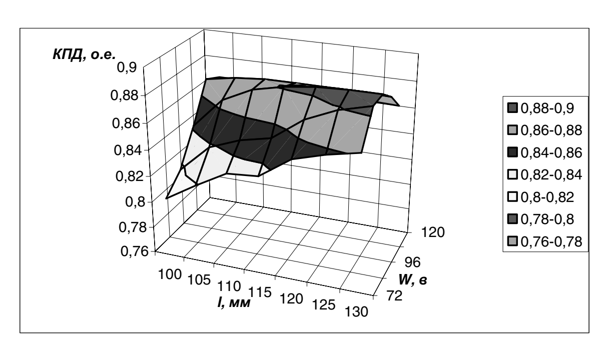


Рис. 2. *Зависимость КПД от изменения длины и числа витков*

Двигатели в диапазоне изменения длины l=110...130 % имеют значения КПД выше, чем у базового двигателя, например W=96 $\eta_н$=0,876...0,885 и W=84 при l=125...130 % имеют $\eta_н$=0,879...0,885. Целесообразно рассматривать двигатели с длиной в диапазоне 110...130 %, и при снижении количества витков обмотки статора на 10 %, что соответствует W=96 витков. Экстремум функции (рис. 2), выделенный темным цветом, соответствует данным значениям длины и витков. Значение КПД при этом возрастает на 0,7...1,7 % и составляет 0,876...0,885.

Третий путь обеспечения энергосбережения мы видим в том, что можно применять асинхронный двигатель общепромышленного исполнения большей мощности [8]. Значения длины сердечника статора для расчетов принимались в диапазоне l=100...170 %. Анализ полученных данных показывает, что у исследуемого двигателя АИР112М2 мощностью 7,5 кВт при увеличении его длины до 115 % максимальное значение КПД η_{max}=0,885 соответствует мощности P_{2max}=5,5 кВт. Этот факт указывает на то, что можно использовать в регулируемом электроприводе двигатели серии АИР112М2 с увеличенной длиной мощностью 7,5 кВт, вместо базового двигателя мощностью 5,5 кВт серии АИР90М2. У двигателя мощностью 5,5 кВт стои-

мость потребляемой электроэнергии за год составляет 71950 р., что значительно выше аналогичного показателя у двигателя увеличенной длины (115 % от базового) мощностью 7,5 кВт при *C*=62570 р. Одной из причин этого факта является сокращение доли электроэнергии на покрытие потерь в АД за счет работы двигателя в области повышенных значений КПД.

Повышение мощности двигателя должно быть обосновано как технической, так и экономической необходимостью [9]. При исследовании двигателей повышенной мощности взят ряд АД общепромышленного применения серии АИР в диапазоне мощностей 3...75 кВт. В качестве примера рассмотрим АД с частотой вращения 3000 об/мин, которые чаще всего применяются в насосных агрегатах ЖКХ, что связано со спецификой регулирования насосного агрегата.

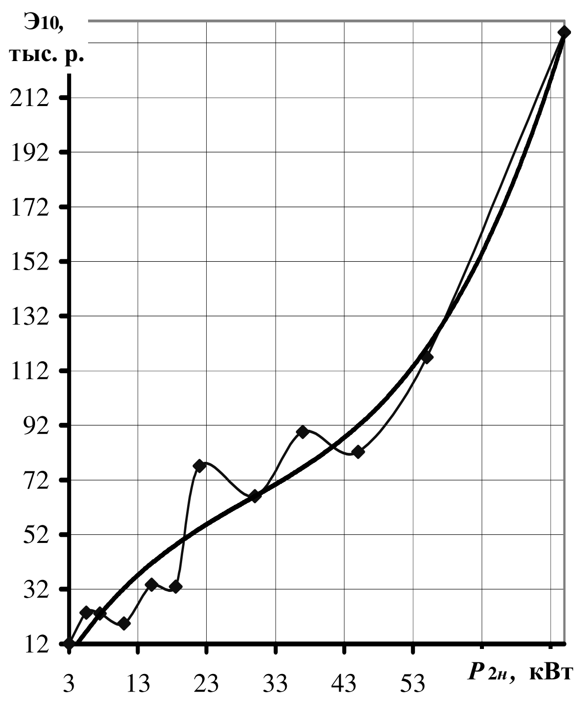


Рис. 3. *Зависимость экономии за средний срок службы от полезной мощности двигателя: волнистая линия построена по результатам расчета, сплошная – аппроксимирована*

Для обоснования экономической выгоды применения двигателей повышенной мощности были проведены расчеты и сравнение двигателей требуемой для данной задачи мощности и двигателей, имеющих мощность на ступень выше. На рис. 3 представлены графики экономии за средний срок службы ($Э_{10}$) от полезной мощности на валу двигателя. Анализ полученной зависимости показывает экономическую эффективность использования двигателей повышенной мощности, несмотря на увеличение стоимости самого двигателя. Экономия электроэнергии за средний срок службы составляет для двигателей со скоростью вращения 3000 об/мин 33...235 тыс. р.

Заключение

Огромный потенциал энергосбережения в России определяется большими затратами электрической энергии в народном хозяйстве. Системный подход при разработке асинхронных регулируемых электроприводов и организация их серийного производства может обеспечить эффективное энергосбережение, в частности, в жилищно-коммунальном хозяйстве. При решении проблемы энергосбережения следует применять асинхронный регулируемый электропривод, альтернативы которому в настоящее время нет.

Выводы

1. Задачу создания энергоэффективных асинхронных двигателей, отвечающих конкретным условиям эксплуатации и энергосбережения, необходимо решать для конкретного регулируемого электропривода, используя системный подход. В настоящее время применяется новый подход к проектированию асинхронных двигателей. Определяющим фактором является повышение энергетических характеристик.
2. Рассмотрена возможность создания энергоэффективных асинхронных двигателей без изменения геометрии поперечного сечения при увеличении длины сердечника статора до 130 % и снижении числа витков обмотки статора до 90 % для регулируемых электроприводов, что позволяет обеспечить реальное энергосбережение.
3. Показаны пути обеспечения энергосбережения за счет использования асинхронных двигателей повышенной мощности в насосных агрегатах сферы жилищно-коммунального хозяйства. Например, при замене двигателя АИР90М2 мощностью 5,5 кВт двигателем АИР112М2 экономия электроэнергии составляет до 15 %.
4. Проведенные экономические расчеты и анализ результатов показывают экономическую эффективность использования двигателей повышенной мощности, несмотря на увеличение стоимости самого двигателя. Экономия электроэнергии за средний срок службы выражается в десятках и сотнях тыс. р. в зависимости от мощности двигателя и составляет 33...325 тыс. р. для асинхронных двигателей с частотой вращения 3000 об/мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2020 г. // ТЭК. – 2003. – № 2. – С. 5–37.
2. Андронов А.Л. Энергосбережение в системах водоснабжения средствами частотного регулирования электропривода // Электроэнергия и будущее цивилизации: Матер. научн.-техн. конф. – Томск, 2004. – С. 251–253.
3. Сидельников Б.В. Перспективы развития и применения бесконтактных регулируемых электродвигателей // Энергосбережение. – 2005. – № 2. – С. 14–20.
4. Петрушин В.С. Системный подход при проектировании регулируемых асинхронных двигателей // Электромеханика, электротехнологии и электроматериаловедение: Труды 5-ой Междунар. конф. МКЭЭЭ-2003. – Крым, Алушта, 2003. – Ч. 1. – С. 357–360.
5. ГОСТ Р 51677-2000 Машины электрические асинхронные мощностью от 1 до 400 кВт включительно. Двигатели. Показатели эффективности. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 4 с.
6. Muravlev O.P., Muravleva O.O. Induction variable speed drive as the basis of efficient energy saving // The 8th Russian-Korean Intern. Symp. Science and Technology KORUS 2004. – Tomsk: TPU, 2004. – V. 1. – P. 264–267.
7. Muravlev O.P., Muravleva O.O., Vekhter E.V. Energetic Parameters of Induction Motors as the Basis of Energy Saving in a Variable Speed Drive // The 4th Intern. Workshop Compatibility in Power Electronics CP 2005. – June 1-3, 2005, Gdynia, Poland, 2005. – P. 61–63.
8. Muravlev O.P., Muravleva O.O. Power Effective Induction Motors for Energy Saving // The 9th Russian-Korean Intern. Symp. Science and Technology KORUS 2005. – Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2005. – V. 2. – P. 56–60.
9. Вехтер Е.В. Выбор асинхронных двигателей повышенной мощности для обеспечения энергосбережения насосных агрегатов в ЖКХ // Современная техника и технологии: Труды 11-ой Междунар. научн.-практ. конф. молодежи и студентов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – Т. 1. – С. 239–241.

УДК 621.313.333:536.24